

Gliwice, 10.08.2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego
pt. "Process performance, influence on reactivity, and hydrophobic character of wet and
dry biomass torrefaction"
wykonanej pod kierunkiem promotorów:
prof. dr hab. inż. Haliny Pawlak-Kruczek z Politechniki Wrocławskiej
oraz dr Amita Arory z SBS State University
(Promotor pomocniczy dr inż. Krzysztof Mościcki)
w Politechnice Wrocławskiej

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Pana dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. uczelni (pismo W9/PW/437/2023 z dnia 22.06.2023r.).

2. Wprowadzenie

Unia Europejska (UE) ma ambitne plany stania się pierwszym neutralnym klimatycznie kontynentem w 2050 roku. W tym celu wprowadzono między innymi tzw. Europejski Zielony Ład (Green Deal) oraz pakiet Fit for 55 promujące wykorzystanie

biomasy jako odnawialnego źródła energii posiadającego tzw. „zerowy” bilans CO₂. Należy jednak pamiętać o zasadniczych wadach większości rodzajów biomasy surowej, do których zalicza się między innymi małą gęstość nasypową i znaczną zawartość wilgoci. Właściwości te mają istotne znaczenie w głównych procesach konwersji energii pierwotnej pochodzącej z biomasy, a więc w procesach zgazowania, pirolizy i spalania. Jednocześnie należy mieć na uwadze, że unijne wizje zeroemisyjnej gospodarki przyszłości w sposób niezwykle restrykcyjny podchodzą do procesu spalania, jako najbardziej szkodliwego z punktu widzenia emisji substancji szkodliwych. W tym kontekście, poszukuje się innych rozwiązań i technologii, które mogłyby się wpisywać w ustanowione cele „probiomasowe”.

Jedną z takich technologii jest toryfikacja, czyli proces mający na celu wstępną obróbkę paliwa w celu poprawy jego parametrów przed późniejszym wykorzystaniem. W procesie toryfikacji biomasy otrzymuje się produkty stałe, ciekłe i gazowe. Głównym produktem (i celem) procesu jest jednak biomasa toryfikowana tzw. toryfikat. Charakteryzuje się on właściwościami fizykochemicznymi zbliżonymi do właściwości niskokalorycznych węgla stosowanych powszechnie w energetyce. Biomasa toryfikowana może stanowić atrakcyjne paliwo dla energetyki, a jej zalety, takie jak: zwiększona podatność przemiatowa i gęstość energetyczna, są szczególnie pożądane dla przyszłych zastosowań energetycznych. Ponadto, toryfikat jest materiałem jednorodnym, charakteryzującym się właściwościami hydrofobowymi i zwiększoną odpornością na czynniki biologiczne w porównaniu z biomasą nieprzetworzoną.

Aby móc powszechnie wykorzystać proces toryfikacji, w tym wielkoskalowo, należy nieustannie prowadzić prace badawcze i rozwojowe. I właśnie w ten nurt wpisuje się praca doktorska Pana mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego. Autor rozprawy postawił sobie bowiem za cel określenie między innymi wpływu parametrów procesowych toryfikacji na właściwości produktów stałych (tzw. biowęgla), w tym tzw. reaktywność i hydrofobowość, wpływ tych właściwości na uzysk poszczególnych frakcji procesowych czy też możliwości efektywnego wykorzystania biowęgla w procesach pirolizy i zgazowania.

Mając powyższe na względzie, uważam rozprawę doktorską mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego pt. “Process performance, influence on reactivity, and hydrophobic

character of wet and dry biomass torrefaction” za ważną zarówno z poznawczego jak i utylitarnego względu, a tematykę pracy za niezwykle aktualną.

3. Zakres i ocena rozprawy

Podstawę rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego stanowi spójny tematycznie cykl jedenastu publikacji wieloautorskich. W jednej z nich Doktorant jest pierwszym Autorem, w siedmiu – drugim Autorem, a w pozostałych trzech publikacjach odpowiednio trzecim, siódmym i dziewiątym Autorem. Aż w pięciu publikacjach jest autorem korespondencyjnym. Do egzemplarza pracy doktorskiej załączono oświadczenia współautorów wszystkich publikacji, w których zdefiniowano wkład Doktoranta w przygotowanie publikacji. Wszyscy współautorzy wyrazili zgodę na przedłożenie wskazanych publikacji jako część rozprawy doktorskiej i oświadczyli, że samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część poszczególnych prac wskazuje na istotny indywidualny wkład merytoryczny mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego w przygotowanie publikacji.

Sumaryczny współczynnik wpływu (tzw. Impact Factor IF) publikacji będących postawą rozprawy wynosi 49,834, a całkowita liczba punktów na dzień opublikowania prac za publikację wg. zestawienia opublikowanego przez Ministra Edukacji i Nauki (tzw. lista A) wynosi 1300.

Praca doktorska (w formie tzw. przewodnika po publikacjach) mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego została napisana w języku angielskim. Zawiera 258 stron i zawiera 5 ponumerowanych rozdziałów, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury liczący 262 pozycji oraz najobszerniejszy załącznik stanowiący kopie publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej wraz z krótkim opisem zawartości merytorycznej każdej z publikacji.

W rozdziale 1 (str. 11-42), zatytułowanym „Introduction” Autor umieścił informacje związane z genezą powstania pracy. Uwzględnił aspekt konieczności wykorzystania odnawialnych źródeł energii w kontekście prawodawstwa Unii Europejskiej. Wprowadził definicję biomasy w kontekście jej „odnawialności”. Opisał strukturę oraz skład chemiczny biomasy. Dużą część rozdziału poświęcił problemowi występowania wilgoci w biomacie, co ma szczególne znaczenie w kontekście procesu toryfikacji. Proces ten został opisany w podrozdziale 1.5. oraz 1.6. (mokra toryfikacja). W tej części Autor opisał także inne sposoby wykorzystania biomasy – pirolizę oraz zgazowanie. Ostatni podrozdział 1.9. został poświęcony wpływu reaktywności paliwa na

elastyczność systemów energetycznych. Analizując ten rozdział należy podkreślić, że Autor w kompleksowy sposób wprowadził czytelnika do wszystkich zagadnień, które zostały poruszone w poszczególnych pracach stanowiących cykl publikacji. Całość oparł o najbardziej aktualne źródła literaturowe.

Rozdział 2 (str. 43-51) został zatytułowany „Unpublished results”. W rozdziale tym Autor postanowił umieścić informacje, które nie zostały opublikowane w 11-tu pracach stanowiących spójny tematycznie cykl publikacji. Wyniki dotyczą procesu toryfikacji odpadów browarniczych. Zbadano hydrofobowość toryfikatu oraz sprawdzono wpływ temperatury oraz czasu reakcji na uzysk toryfikatu. Wykonano także serię analiz FTIR, które pokazały, że skład chemiczny materiału przed i po toryfikacji jest nieznacznie różny.

W rozdziale 3 (str. 51-52) Autor zamieścił najważniejsze Wnioski z pracy doktorskiej. Autor sformułował szereg wniosków, które wybrzmiały jako udowodnienie tez, które nie zostały w sposób „jawny” wypisane jako osobny rozdział pracy. Autor stwierdza, że metody pośrednie są najlepsze do oceny wydajności procesu toryfikacji, zarówno suchej i mokrej. Okazuje się jednak, że powszechnie znane metody pośrednia, jak np. metoda zwana jako „ash tracer method” uwzględniająca zawartości popiołów w surowej i toryfikowanej biomase w stanie suchym nie powinny być stosowane do toryfikacji mokrej, w której obserwuje się spadek zawartości popiołu po procesie. Z tego powodu Autor proponuje, aby w przypadku mokrej toryfikacji do oceny wydajności procesu wykorzystywać bezpośrednią zależność zaproponowaną przez Webera rozumianą jako stosunek suchej masy toryfikatu do surowca. Doktorant wykazał ponadto wyraźny wpływ sposobu realizacji toryfikacji (mokra/sucha) na reaktywność toryfikatu w procesie zgazowania i pirolizy. Zmiany reaktywności okazały się szczególnie korzystne jeśli uwzględni się konieczność zapewnienia elastyczności paliwowej systemów energetycznych. Autor stwierdza również, że hydrofobowość biomasy nie jest związana – jak uważano dotąd – z rozkładem hemicelulozy, ale jest efektem złożonych powiązań między wodą a związkami powstającymi podczas procesu, jak np. „pseudo-lignina”. Po wnioskach Autor umieścił spis literatury.

Rozdział 4 stanowi istotę przewodnika, bowiem to właśnie tam Autor umieścił informację na temat poszczególnych publikacji stanowiących rozprawę doktorską. Są to:

Paper I: Pawlak-Kruczek, H.; Wnukowski, M.; Niedźwiecki, L.; Kowal, M.; Krochmalny, K. Gasification of torrefied sewage sludge with the addition of calcium carbonate. *Journal of Energy Resources Technology* 2020, 7, 142, doi: 10.1115/1.4046140

W pracy pokazano wyniki badań procesu toryfikacji osadów ściekowych oraz wyniki badań procesu ich zgazowania z dodatkiem katalizatora (związek CaCO_3). W pracy skupiono się na procesie zgazowania i właściwościach produkowanego gazu ze zgazowania, nie analizując zbyt szczegółowo procesu toryfikacji. Stwierdzono, że dodatek CaCO_3 sprzyja ograniczaniu powstawianiu tzw. ciężkich smół, co pozwala z optymizmem patrzeć na możliwość zgazowania takiego paliwa bez większych problemów eksploatacyjnych.

Paper II: Aragon-Briceño, C.; Pożarlik, A.; Bramer, E.; Brem, G.; Wang, S.; Wen, Y.; Yang, W.; Pawlak-Kruczek, H.; Niedźwiecki, Ł.; Urbanowska, A.; et al. Integration of Hydrothermal Carbonization Treatment for Water and Energy Recovery from Organic Fraction of Municipal Solid Waste Digestate. *Renew. Energy* 2022, 184, 577–591, doi:10.1016/j.renene.2021.11.106

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu hydrotermicznej (hydrotermalnej) karbonizacji (rozumianej jako mokra toryfikacja) odpadów z procesu fermentacji odpadów komunalnych. Badania miały charakter wieloparametrowy. Badano wpływ temperatury oraz czasu przebywania. Funkcją celu była między innymi możliwość odzysku wody z surowca oraz określenie możliwości samowystarczalności energetycznej układu: proces mokrej toryfikacji – odzysk wody – suszenie. Praca ma niezwykle złożony charakter, uwzględnia bowiem zagadnienia eksperymentalne oraz modelowe z wykorzystaniem programu Aspen Plus. Określono optymalne warunki procesu mokrej toryfikacji, przy której odzysk wody jest największy, a bilans energetyczny procesu dodatni.

Paper III: Niedźwiecki, L.; Moscicki, K.; Bijl, A.; Owczarek, P.; Arora, A.; Wnukowski, M.; Aragon-Briceno, C.; Vishwajeet; Pawlak-Kruczek, H.; Bramer, E.; et al. Influence of Hydrothermal Carbonization on Catalytic Fast Pyrolysis of Agricultural Biomass. *Appl. Sci.* 2023, 13, 4190, doi:10.3390/app13074190

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu mokrej toryfikacji rośliny energetycznej z grupy *Miscanthus* oraz procesu pirolizy otrzymanego toryfikatu. Proces pirolizy został przeprowadzony przy użyciu oryginalnego urządzenia Cyclonic TGA, które replikuje zasady działania jednostki szybkiej pirolizy, osiągając znacznie wyższe niż możliwe dla standardowego wyposażenia analitycznego TGA szybkości ogrzewania. Stwierdzono pozytywny wpływ mokrej toryfikacji na proces pirolizy. Mniejsza zawartość tlenu w toryfikacie skutkuje mniejszą zawartością tlenu w ciekłych produktach pirolizy pogarszających zawsze ich jakość. Poza tym, mniejsza zawartość związków nieorganicznych powoduje, że reaktywność toryfikatu się zwiększa przez co w „łatwiejszy” sposób można przekazać ciepło niezbędne do procesu pirolizy. Energia aktywacji toryfikatu jest wyższa w porównaniu z biomasą przed procesem.

Paper IV: Pawlak-Kruczek, H.; Niedźwiecki, L.; Sieradzka, M.; Mlonka-Mędrala, A.; Baranowski, M.; Serafin-Tkaczuk, M.; Magdziarz, A. Hydrothermal Carbonization of Agricultural and Municipal Solid Waste Digestates – Structure and Energetic Properties of the Solid Products. *Fuel* 2020, 275, 117837, doi:10.1016/j.fuel.2020.117837

W pracy przedstawiono wyniki badań fizykochemicznych toryfikatów pochodzących z mokrej toryfikacji dwóch rodzajów odpadów pofermentacyjnych: pochodzenia rolniczego oraz komunalnego. Ponadto pokazano wyniki badań reaktywności otrzymanych toryfikatów w procesie spalania oraz pirolizy z wykorzystaniem termogravimetrii. Pracę uzupełniono o wyniki analiz SEM oraz porozymetrii w celu oceny w jakim stopniu zmiany fizyczne w materiale mogą wpływać na jego reaktywność.

Paper V: Čespiva, J.; Niedźwiecki, L.; Wnukowski, M.; Krochmalny, K.; Mularski, J.; Ochodek, T.; Pawlak-Kruczek, H. Torrefaction and Gasification of Biomass for Polygeneration: Production of Biochar and Producer Gas at Low Load Conditions. *Energy Reports* 2022, 8, 134–144, doi:10.1016/j.egy.2022.10.081

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu toryfikacji zrębek drewnianych oraz zgazowania zrębek oraz ich toryfikatu. Przenalizowano skład torgazu oraz gazu ze zgazowania, scharakteryzowano smoły powstające w procesach oraz określono uzysk stałej frakcji z obu procesów. W pracy uwzględniono również aspekt elastyczności



systemów energetycznych wskazując, że należy rozważyć produkcję biowęglą jako ważny produkt wysoce elastycznych gazogeneratorów biomasowych.

Paper VI: Mościcki, K.J.; Niedźwiecki, L.; Owczarek, P.; Wnukowski, M. Commoditization of Wet and High Ash Biomass: Wet Torrefaction – a Review. *J. Power Technol.* 2017, 97, 354–369

Praca jest artykułem przeglądowym analizującym aspekty technologiczne i naukowe procesu mokrej toryfikacji. Poruszono aspekt właściwości mokrego paliwa poddawanego toryfikacji, opisano chemizm procesu oraz przeanalizowano losy substancji nieorganicznej w procesie. Doktorant zaproponował wykorzystanie wskaźnika ash yield Y_a . Jest to wskaźnik, który można obliczyć dysponując danymi dotyczącymi uzysku masy oraz zawartością popiołu w substancji. Opisuje on udział popiołu w toryfikacji po mokrej toryfikacji. Niemal zawsze wynosi on <1 , co oznacza, że proces mokrej toryfikacji usuwa część frakcji nieorganicznej z biomasy. Na podstawie dużej bazy danych literaturowych, mgr inż. Łukasz Niedźwiecki policzył ten wskaźnik udowadniając, że mimo obserwowanego w niektórych przypadkach wzrostu udziału popiołu po toryfikacji, wskaźnik $Y_a < 1$.

Paper VII: Jackowski, M.; Niedźwiecki, L.*; Lech, M.; Wnukowski, M.; Arora, A.; Tkaczuk-Serafin, M.; Baranowski, M.; Krochmalny, K.; Veetil, V.K.; Seruga, P.; et al. HTC of Wet Residues of the Brewing Process: Comprehensive Characterization of Produced Beer, Spent Grain and Valorized Residues. *Energies* 2020, 13, 2058, doi:10.3390/en13082058

W pracy przedstawiono wyniki procesu mokrej toryfikacji odpadów z produkcji piwa. Scharakteryzowano produkt odpadowy będący wsadem do procesu toryfikacji. Badania przeprowadzono dla wielu parametrów procesowych – temperatura, czas przebywania, szybkość ogrzewania. W celu określenia wydajności procesu zaproponowano różne metody mając na uwadze przyszłe przemysłowe zastosowanie tych metod. Stwierdzono, że metoda śledzenia popiołu nie jest odpowiednia do pośredniego wyznaczania wydajności procesu mokrej toryfikacji, ponieważ składniki nieorganiczne mogą być wymywane do fazy ciekłej podczas procesu, podczas gdy metoda Webera (również pośrednie) daje satysfakcjonujące wyniki, zbliżone do wydajności określonych metodą bezpośrednią. Określono wpływ toryfikacji na

reaktywność. W tym celu przeprowadzono analizę TGA w atmosferze inertej (piroliza) pokazując zmiany (w stosunku do biomasy przed toryfikacją) w szczytach DTG, tj. zarówno temperatury szczytu, jak i jego wysokość. W pracy udowodniono również, że toryfikacja polepsza podatność przemiałową paliwa.

Paper VIII: Luo, H.; Niedźwiecki, L.; Arora, A.; Mościcki, K.; Pawlak-Kruczek, H.; Krochmalny, K.; Baranowski, M.; Tiwari, M.; Sharma, A.; Sharma, T.; et al. Influence of Torrefaction and Pelletizing of Sawdust on the Design Parameters of a Fixed Bed Gasifier. *Energies* 2020, 13, 3018, doi:10.3390/en13113018

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu toryfikacji pyłu drzewnego (mieszanina). Toryfikat został następnie speletyzowany. Tak przygotowane paliwa (surowy pył, pył storyfikowany, toryfikat speletyzowany) zostały poddane procesowi pirolizy i zgazowania w specjalnej konstrukcji piecu izotermicznym. Wyniki pokazały, że ten sam materiał (z perspektywy składu chemicznego) zachowuje się inaczej podczas pirolizy i zgazowania. Na przykład, speletyzowany toryfikat pozwala na lepszą penetrację czynnika zgazowującego, co wpływa pozytywnie na skład gazu ze zgazowania.

Paper IX: Pawlak-Kruczek, H.; Urbanowska, A.; Yang, W.; Brem, G.; Magdziarz, A.; Seruga, P.; Niedźwiecki, L.; Pożarlik, A.; Mlonka-Mędrala, A.; Kabsch-Korbutowicz, M.; et al. Industrial Process Description for the Recovery of Agricultural Water from Digestate. *J. Energy Resour. Technol.* 2020, 142, 075001-1-075001-075008, doi:10.1115/1.4046141

W pracy zaproponowano technologię, w której mokra toryfikacja odpadów pofermentacyjnych jest zintegrowana z odzyskiem wody, zawracanej z powrotem do procesu produkcji biogazu. Propozycja wpisuje się w ideę „zero waste” oraz „circular economy”.

Paper X: Jackowski, M.; Niedźwiecki, Ł.; Mościcki, K.; Arora, A.; Saeed, M.A.; Krochmalny, K.; Pawliczek, J.; Trusek, A.; Lech, M.; Skřínský, J.; et al. Synergetic Co-Production of Beer Colouring Agent and Solid Fuel from Brewers' Spent Grain ϵ g in the Circular Economy Perspective. *Sustainability* 2021, 13, 10480, doi:10.3390/su131810480.

Praca przedstawia wyniki badań procesu toryfikacji odpadów browarniczych (jak praca VII). Określono wydajność procesu dla zmiennych warunków procesowych. Scharakteryzowano toryfikat jako paliwo. Bardzo ciekawym i nowatorskim pomysłem jest próba wykorzystania toryfikatu jako barwnika oraz aromatu do przemysłu spożywczego. Barwa (i zapach) jest nadawana przez związki organiczne skondensowane na powierzchni materiału poddanego toryfikacji. W pracy zaproponowano także propozycję integracji procesu toryfikacji z rzeczywistymi elementami browaru.

Paper XI: Pawlak-Kruczek, H.; Niedźwiecki, Ł.; Ostrycharczyk, M.; Czerep, M.; Plutecki, Z. Potential and Methods for Increasing the Flexibility and Efficiency of the Lignite Fired Power Unit, Using Integrated Lignite Drying. *Energy* 2019, 181, 1142–1151, doi:10.1016/j.energy.2019.06.026.

W pracy przedstawiono metody zwiększania elastyczności paliwowej jednostek energetycznych zasilanych węglem brunatnym. W pracy tej jest jedno miejsce, gdzie wskazuje się proces toryfikacji jako metodę zwiększania elastyczności paliwowej. Jest to tabela 1, gdzie podkreśla się możliwość stosowania biomasy toryfikowanej jako dodatkowego paliwa pozwalającego na uzyskanie lepszych właściwości zapłonowych i ułatwienie możliwości współspalania z węglem. Należałoby rozważyć, czy praca ta wnosi do rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego jakiś dodatkowy aspekt. Zdaniem recenzenta tylko niewielki.

Analizując zawartość merytoryczną publikacji, należy się zastanowić, czy kolejność występowania prac, którą zaproponował Doktorant jest właściwa. Wydaje się, że można to zoptymalizować, zaczynając od pracy przeglądowej, poprzez prace, w których Doktorant skupił się na właściwościach toryfikatów, następnie zbadał ich reaktywność w różnych procesach (kilkakrotnie), aż w końcu zaproponował układy technologiczne oparte na toryfikacji. Należałoby może również uporządkować te propozycje z punktu widzenia np. paliwa jakie poddawane było toryfikacji.

Rozdział 5 stanowi listę publikacji, w których Doktorant jest współautorem, a które nie są elementem składowym cyklu publikacji.

Podsumowując stwierdzam, że tytuł rozprawy obejmuje jej zakres. Geneza tematu i uzasadnienie celowości jego podjęcia jako problemu badawczego, wynikają z przeglądu stanu wiedzy. Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest oryginalna, aktualna i interesująca. Na uwagę zasługuje kompleksowy charakter prowadzonych badań.

Za główne osiągnięcia Autora pracy uważam:

1. Udowodnienie, że proces mokrej toryfikacji biomasy wpływa w zasadniczy sposób na frakcję nieorganiczną w paliwie, co ujmuje wskaźnik „ash yield Y_a ”, który został zaimplementowany w badaniach.
2. Eksperymentalne zweryfikowanie założenia, że reaktywność toryfikatów wykorzystywanych w procesach termicznych (piroliza i zgazowanie) zwiększa się.
3. Wskazanie, że wykorzystanie toryfikatów w procesie pirolizy wpływa pozytywnie na jakość popirolitycznej frakcji ciekłej.
4. Eksperymentalne zweryfikowanie tezy, że toryfikacja polepsza podatność przemiałową paliwa.

Ponadto na szczególną uwagę zasługuje szeroki zakres prowadzonych badań. Wykorzystano szereg nowatorskich technik eksperymentalnych. W zasadzie wszystkie prace prowadzono we współpracy międzynarodowej. Wyniki prac były publikowane w prestiżowych czasopismach.

Pomimo przedstawionych uwag, strukturę merytoryczną i układ recenzowanej pracy uznaję za właściwe.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Poniżej przedstawiam uwagi krytyczne i dyskusyjne jakie nasunęły się podczas lektury pracy. **Moim zdaniem są one istotne dla dalszej dyskusji podczas publicznej obrony:**

1. **Paper I:** Dodatek CaCO_3 do procesu zgazowania ogranicza powstawanie wielkocząsteczkowych związków smołowych, ale znacznie pogarsza właściwości gazu ze zgazowania. Tylko nieznacznie wzrasta udział molowy

- metanu, przy czym istotnie maleje udział molowy wodoru oraz obniża się wartość opałowa gazu. Co jest zatem funkcją celu pracy zgazowarki?
2. **Paper II:** Autor stwierdził, że odzyskana woda procesowa może być zwracana do procesu fermentacji beztlenowej, ale wymagane są dalsze badania w tym kierunku. Jakie badania doktorant ma na myśli?
 3. **Paper III:** Doktorant stwierdził, że „dalsze badania powinny potwierdzić pozytywny wpływ mokrej toryfikacji na właściwości oleju pirolitycznego”. O jakie właściwości chodzi i jaki to może być wpływ?
 4. **Paper IV:** Autor określił powierzchnię właściwą za pomocą techniki porozymetrii rtęciowej. Określił także całkowitą objętość porów (zapewne makroporów?). Dlaczego nie zaplanowano badań BET, które pozwoliłyby na oszacowanie objętości mikro- i mezoporów? Takie wyniki mogłyby wskazać na ewentualne inne możliwości stosowania toryfikatów.
 5. **Paper V:** Czy produkowany torgaz oraz gaz ze zgazowania toryfikatów może być w sposób bezpośredni wykorzystany w silnikach i turbinach gazowych?
 6. **Paper VI:** Proces mokrej toryfikacji nie wymaga wstępnego suszenia biomasy. Czy są jednak sposoby na usunięcie wody, które będą mniej „kosztować” energetycznie niż strumień ciepła, który należy dostarczyć do reaktora, tak aby bilans energetyczny netto był dodatni?
 7. **Paper VII:** Jak rozumieć termin „average heating rate”?
 8. **Paper VIII:** Dlaczego nie policzono wartości opałowej gazu pirolitycznego i gazu ze zgazowania?
 9. **Paper IX:** Jak obliczono straty energii pokazane na rysunku 4? Jaka jest dokładność tych wyników?
 10. **Paper X:** Czy wskazane potencjalne zastosowanie toryfikatów jako surowców w przemyśle spożywczym może spowodować zwiększone zainteresowanie procesem toryfikacji innych odpadów spożywczych? Jeśli tak, to gdzie Pan widzi takie szanse?

Podkreślić należy, że powyższe uwagi **mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej pracy i pozytywnej oceny pracy.**

Inne uwagi, w tym edycyjne i językowe:

1. Paper I: rysunki od 4 do 6; na osiach rzędnych nie występuje stężenie, które należałoby wyrazić np. w $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{n}}$ (jak na rys. 8), ale udział. Prawdopodobnie molowy?
2. Paper II: na rysunku 3 należałoby usunąć wartość 120% (udziały sumują się do 100%).
3. Paper IV: tabela 2; co oznacza symbol gwiazdki * w ostatniej kolumnie?
4. Paper V: tabela 1; nie wyjaśniono indeksów górnych „d” oraz „r”.
5. Niewielka liczba innych drobnych błędów interpunkcyjnych i edycyjnych.

5. Wnioski końcowe

W podsumowaniu stwierdzam, że odnoszące się do rozprawy uwagi krytyczne nie mają wpływu na jej ocenę, która jest w pełni pozytywna i wysoka. Oceniana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant w pełni zrealizował postawione cele. Uważam, że należy podkreślić kompleksowy charakter przeprowadzonych analiz. Autor rozprawy, mgr inż. Łukasz Niedźwiecki wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, niezbędną do przygotowania rozprawy. Wynika to jednoznacznie z treści pracy.

Na podstawie przedstawionej do recenzji pracy stwierdzam, że Doktorant wykazał opanowanie podstaw teoretycznych badanego problemu, umiejętność formułowania zadania naukowego, znajomość stanu osiągnięć w obszarze wiedzy związanej z pracą oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań.

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego pt. “Process performance, influence on reactivity, and hydrophobic character of wet and dry biomass torrefaction” spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742).

Zwracam się do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z wnioskiem o dopuszczenie mgr inż. Łukasza Niedźwieckiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Jednocześnie, mając na względzie szeroki zakres badań, ich kompleksowość, znaczenie międzynarodowe oraz istotność z punktu widzenia perspektywy rozwoju instalacji toryfikacji biomasy, wnioskuje o wyróżnienie rozprawy.

10/08/23

Jlbaan Wle